

Pemodelan Sistem Hidrolis Terhadap Variasi Tinggi Gelombang Air Laut Pada Sistem *Wave Energy Hyperbaric Converter* (WEHC)

Frengki Mohamad Felayati, Taufik Fajar Nugroho, dan Sutopo Purwono Fitri

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: tfnugroho@gmail.com, sutopopf@gmail.com, frengkimuhamad.felayati@gmail.com

Abstrak— Perbedaan karakteristik gelombang berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Termasuk WEHC (*Wave Energy Hyperbaric Converter*) dalam instalasinya perlu dianalisa aliran energi terhadap variasi tinggi gelombang air laut dan mengetahui tinggi gelombang optimum untuk instalasinya. Sistem ini bekerja dengan sub sistem antara lain *buoy*, *arm*, *hydraulic pump*, *hyperbaric accumulator*, *hyperbaric chamber*, dan turbin pelton. Sistem bekerja secara tertutup dengan menggunakan fluida *fresh water*. Implementasi dari *converter* ini yaitu di daerah pantai curam atau dengan rekayasa struktur yang sesuai. Pembuatan simulasi menggunakan MATLAB Simulink dengan memvariasikan tinggi gelombang laut antara 1 – 2 m dan periode gelombang 5 – 7 m. Rancangan sistem ini menghasilkan daya terkecil 8.8 kW yaitu pada periode gelombang 7 s dan tinggi gelombang 1 m. Sedangkan daya terbesar yaitu 24.9 kW pada periode gelombang 5 s dan tinggi gelombang 2 m dengan efisiensi sebesar 82.8%.

Kata Kunci— Buoy, Hidrolis, Pemodelan, MATLAB Simulink, WEHC, Wave Energy Converter.

I. PENDAHULUAN

Kelistrikan di Indonesia menggunakan beberapa jenis sumber tenaga, baik itu terbarukan ataupun tidak terbarukan. Seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Berdasarkan statistik listrik di tahun 2012 konsumsi listrik terbanyak ditempati oleh sektor rumah tangga yaitu sebesar 72,133 GWh (41,5%) sedangkan pada urutan kedua yaitu oleh sektor industri sebesar 60,176 GWh (34,6%) [5]. Hal ini belum mempertimbangkan proyeksi kebutuhan listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara) pada tahun 2020 yaitu sebesar 272.34 TWh dengan pertumbuhan permintaan listrik rata-rata 6.5% per tahun [8].

Beban listrik terbesar hingga saat ini terpusat di Pulau Jawa. Sedangkan masih banyak pulau di luar Jawa masih tertinggal kekurangan listrik. Menurut Lubis secara statistik keberadaan desa-desa tertinggal yang belum berkembang di pulau-pulau kecil (*small islands*) mencapai hampir 7% dari wilayah dunia dan merupakan entitas daratan tersendiri yang umumnya sama

sekali belum menikmati infrastruktur listrik, dicirikan oleh kerentanan ekonomi dan keterbelakangan pembangunan [6].

Konversi energi gelombang laut memiliki beberapa keuntungan. Sumber daya gelombang laut merupakan sumber yang tidak terbatas, setiap saat gelombang laut terbentuk. Selain itu pantai bisa terproteksi karena daya gelombang laut tersalurkan melalui pembangkit. Tidak kalahnya lagi konversi gelombang laut merupakan energi yang ramah lingkungan, artinya tidak menghasilkan emisi apapun.

Sistem konversi pembangkit listrik tenaga gelombang laut telah berkembang dalam berbagai tipe. Eksplorasi daya gelombang untuk daerah pesisir (*nearshore*) lebih banyak menggunakan sistem *power-take-off* (PTO) [3] yaitu menggunakan *buoy* kemudian ditransmisikan pada sistem hidrolis untuk menggerakkan generator melalui turbin. Teknologi baru yang kini berkembang menyisipkan tekanan tambahan untuk menggerakkan turbin dengan memberi *hyperbaric chamber* (HC). Sistem ini bekerja tergantung pada ketinggian gelombang daerah implementasinya karena kemudian berpengaruh pada distribusi fluida yang menggerakkan generator. Oleh karena itu perlunya diadakan penelitian pengaruh perbedaan karakteristik gelombang terhadap listrik yang dihasilkan sehingga lokasi instalasi pembangkit bisa disesuaikan dengan kondisi lapangan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode berbasis simulasi perangkat lunak MATLAB *Simulink* dengan membuat model matematis gelombang laut dan menganalisa aliran energi pada sistem mulai dari awal gelombang mengenai *buoy* hingga terbentuk power.

A. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap ini melakukan kegiatan mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang akan diteliti. Telah ditentukan permasalahan untuk penelitian ini yaitu mengetahui kinerja sistem dengan membuat simulasi model matematis *Wave Energy Hyperbaric Converter* (WEHC) sehingga bisa menghasilkan tenaga listrik secara optimal. Selain itu juga mengidentifikasi pengaruh variasi ketinggian gelombang air laut untuk WEHC. Sehingga di akhir ditemukan ketinggian optimum yang mempunyai efisiensi paling baik untuk instalasi

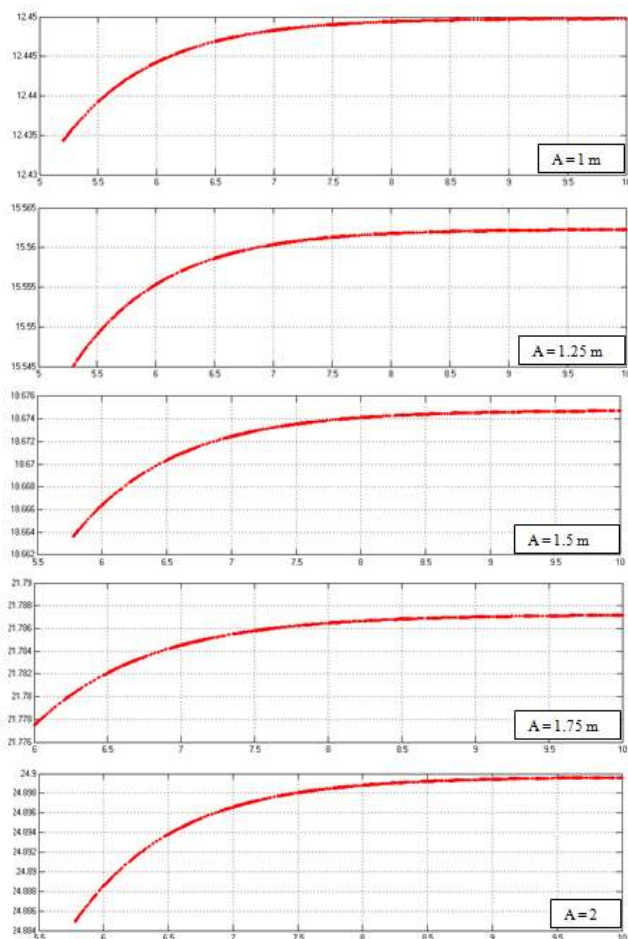
WEHC.

B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi teori dasar untuk memecahkan permasalahan yang diangkat. Sumbernya berasal dari jurnal penelitian, buku, dan atau internet. Literatur yang dicari berhubungan dengan karakteristik gelombang laut, teori tentang konversi energi gelombang laut, karakteristik sistem hidrolis, serta penjelasan lengkap tentang *Wave Energy Hyperbaric Converter* (WEHC).

C. Pemodelan Gelombang dan Konfigurasi Aliran Energi pada Sistem

Setelah mengumpulkan dan studi literatur selanjutnya yaitu memodelkan serta mengkonfigurasi aliran energi pada sistem WEHC. Pemodelan dibuat dengan perangkat lunak MATLAB melalui perhitungan matematis [1]. Sehingga terealisasi model dari sistem dan siap untuk disimulasikan sesuai dengan variabel yang sudah disiapkan.



Gambar 1. Hasil Respon Simulasi BHP pada $T = 5$ s

D. Simulasi

Sistem yang sudah dimodelkan pada perangkat lunak MATLAB disimulasikan. WEHC disimulasikan dengan mengubah karakteristik gelombang laut mulai dari tinggi (A), frekuensi (f), dan periode gelombang (T). Data yang diperoleh kemudian dibuat grafik sehingga terlihat pengaruh variasinya. Aliran energi pada *arm* kemudian diidentifikasi dan dihitung

sampai hasil daya dari generator. Sehingga hasilnya akan terlihat dari awal variasi gelombang hingga hasil akhir daya listrik yang dihasilkan.

E. Kalibrasi

Kegiatan ini dilakukan ketika setelah simulasi dirasa kurang akurat atau ada perhitungan yang salah. Jika terjadi demikian maka simulasi harus diulang kembali sampai ada data baru. Simulasi yang berhasil atau sesuai dengan harapan tidak perlu lagi kalibrasi sistem WEHC dalam MATLAB tetapi dilanjutkan pada tahap berikutnya.

F. Analisa Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang berupa data grafik selanjutnya dianalisa. Dengan demikian dicari karakteristik gelombang seperti apa yang memiliki nilai hasil yang paling tinggi sehingga sistem WEHC bisa beroperasi secara maksimal.

G. Kesimpulan

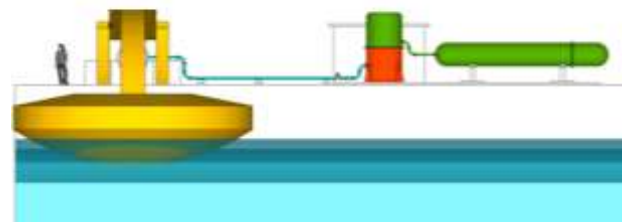
Semua tahap sudah dijalankan lalu hasil analisa simulasi ditarik kesimpulan. Hasilnya nanti digunakan untuk rekomendasi implementasi WEHC sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Jika diperlukan rekomendasi diberikan juga untuk penelitian selanjutnya dengan variabel yang berbeda.

III. ANALISA DATA

A. Desain Umum WEHC

Simulasi WEHC dibutuhkan ukuran dan sistem yang sudah didesain dengan baik. Setiap komponen digabungkan sehingga membentuk sistem pembangkit listrik. Dengan demikian gambaran akan sistem yang akan disimulasi jelas.

Dimensi pada setiap komponen menggunakan dimensi yang ada di pasaran, jika tidak ada dimanipulasi sesuai dengan kebutuhan. Bentuk dan penempatan WEHC disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya.



Gambar 2. Ilustrasi WEHC

B. Pemodelan Matematis Gelombang Laut

Pemodelan gelombang menggunakan penjumlahan dua fungsi gelombang dengan frekuensi yang berbeda. Fungsi tersebut sama sehingga terjadi sebuah gelombang acak yang memiliki amplitudo (A) terjumlah dan frekuensi (f) yang berbeda. Adapun fungsi yang dijumlah yaitu:

$$y = \text{amplitude} \times \sin(\text{frequency} \times \text{time} + \text{phase}) + \text{bias}.$$

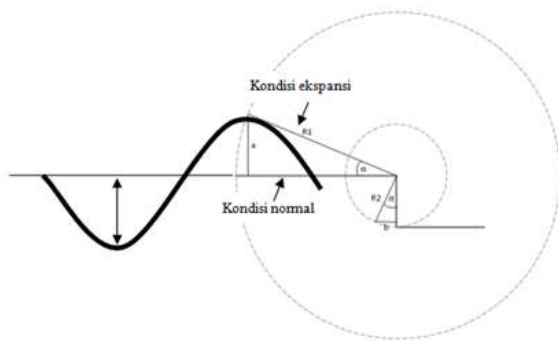
Fungsi tersebut terdapat dalam MATLAB menggunakan *sine wave block* dengan *sample time discrete mode* dimana nilai sampel parameter waktu lebih besar dari nol menyebabkan blok bekerja seolah-olah pada Orde-Nol menahan blok yang sampel waktunya diatur ke nilai tersebut. Diferensial algoritma tambahan yang digunakan untuk menghitung sinus berdasarkan pada nilai dihitung pada saat *sampel-time* menggunakan metode trigonometri berikut:

$$\sin(t + \Delta t) = \sin(t)\cos(\Delta t) + \sin(\Delta t)\cos(t)$$

$$\cos(t + \Delta t) = \cos(t)\cos(\Delta t) - \sin(t)\sin(\Delta t)$$

C. Pemodelan Matematis WEHC

Gelombang air laut yang mengenai *lever arm* dianggap sebagai gelombang beraturan yang membentuk gelombang sinusoidal. Saat satu gelombang mengenai *buoy* pada lengan maka sama dengan satu langkah pemompaan dengan volume penuh pada pompa.



Gambar 3. Ilustrasi Gelombang pada WEHC

Saat t bernilai 0 lengan berada pada kondisi normal, pompa dispasmen berekspansi ketika lengan pada puncak gelombang (A), saat kompresi hingga akhirnya kembali pada posisi normal sama dengan satu kali langkah pemompaan sepanjang λ . Pompa dalam sistem ini berupa pompa positif dispasmen dimana dari gaya yang diberikan oleh *lever arm* mengakibatkan fluida bervolume tetap dikeluarkan dengan masuk dari titik *inlet* menuju titik *outlet*.

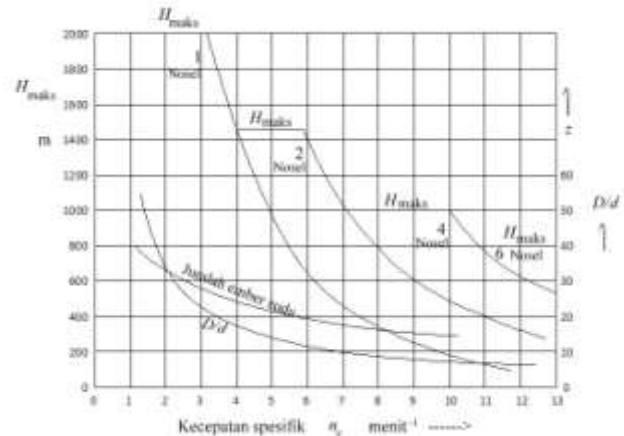
$$Q(t) = V_o/T$$

Air yang keluar dari pompa diteruskan pada *Hyperbaric Accumulator* (HA) dimana menjadi satu unit dengan *Hyperbaric Chamber* (HC) yang merupakan tabung bertekanan [4]. Fungsinya yaitu untuk mengontrol laju fluida ketika gelombang yang menghantam *buoy* merupakan gelombang tak beraturan (ketinggian acak). Hal tersebut berguna untuk menjaga kecepatan (v_o) fluida untuk menghasilkan putaran tetap pada turbin pelton. Pada turbin dicari daya turbin [9] yang dihasilkan dengan menggunakan v_2 yaitu sebagai berikut:

$$BHP = 2\pi.Mt.\omega_r$$

D. Pemilihan Turbin Pelton

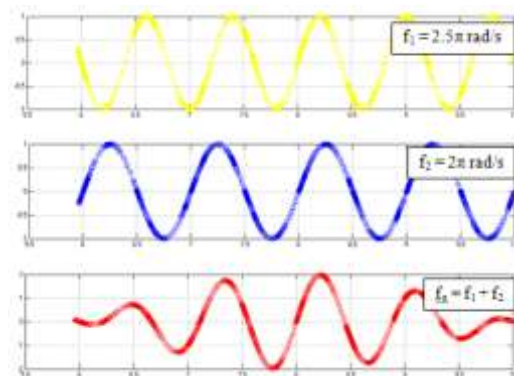
Turbin Pelton diproduksi sesuai dengan kebutuhan daya yang diterima oleh turbin [3]. Perhitungan tersebut berdasarkan data besarnya *head* yang ada dari ketinggian air (jika di darat). Untuk sistem ini menggunakan *head pressure* sehingga pemodelan dan pilihannya sama. Perbedaannya, tekanan yang dihasilkan di sistem ini melalui gerakan *buoy* yang tergantung pada besarnya dispasmen yang dipindahkan akibat tumbukan gelombang laut.



Gambar 4. Grafik Pemilihan Turbin Pelton

E. Pemodelan Gelombang pada Simulink

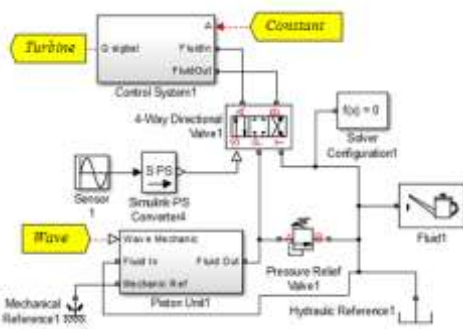
Gelombang laut yang dimodelkan yaitu berupa gelombang acak dengan menggunakan metode penjumlahan dua fungsi dengan frekuensi (f) yang berbeda. Sedangkan amplitudonya (A) merupakan ketinggian gelombang yang dijumlahkan. Pembuatannya menggunakan *sine wave* yang berupa *signal block*.



Gambar 5. Pemodelan Gelombang Sinusoidal

F. Pemodelan Sistem Hidrolis

Sistem hidrolis yang ada pada WEHC ini adalah sistem tertutup. Sistem bekerja memompa fluida air menggunakan *piston pump* kemudian fluktuasi kapasitas yang keluar (Q_o) dikontrol agar keluarannya stabil. Kemudian mengenai turbin dan kembali lagi menuju pompa [7]. Dalam sistem ini keluarannya berupa *port connection* sehingga perlu adanya *signal connection* untuk mengetahui nilai *output* yang dihasilkan setiap komponen.

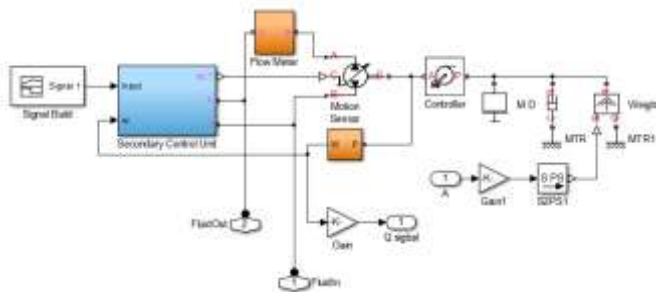


Gambar 6. Pemodelan Sistem Hidrolik WEHC

Pemodelan sistem hidrolik yang dibuat terdapat dua komponen yaitu komponen utama dan komponen tambahan. Setiap komponen memiliki karakteristik tersendiri untuk merepresentasikan fungsi dari sistem yang berjalan. Komponen utama menjelaskan tentang komponen pokok dalam fungsi hidrolik, sedangkan komponen tambahan merupakan komponen pendukung agar fungsi kerja hidrolik pada komponen utama bisa berjalan.

G. Pemodelan Control System

Sistem kontrol dalam pemodelan WEHC ini merupakan salah satu unit utama yang mengkonversikan bentuk aliran sinusoidal dari pompa menjadi translasi konstan. Pemodelan ini merupakan representasi dari cara kerja *Hyperbaric Accumulator* dan *Hyperbaric Chamber* [7]. Dalam kontroler ini terdapat sistem yang mengatur aliran fluida yang keluar dari *valve*.

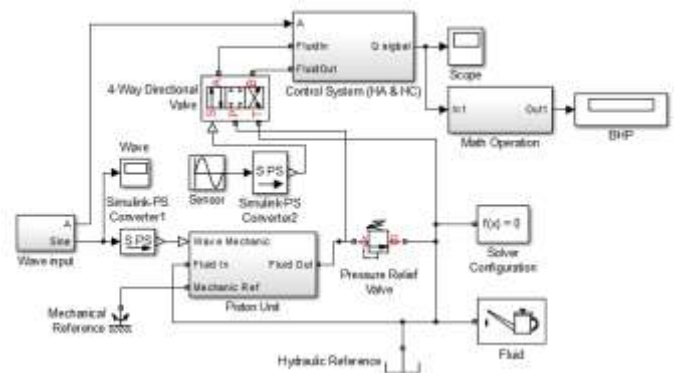


Gambar 7. Pemodelan Sistem Kontrol WEHC

Aliran tersebut masuk dalam *variabel displacement motor* sehingga alirannya terukur melalui *flow meter block*. Setelah itu informasi disalurkan pada *seconday control unit* dan diterjemahkan untuk mengontrol aliran masuk melalui *valve*. Kemudian berulang sehingga keluarannya diatur pula menggunakan *controller wheel*.

H. Pemodelan WEHC

Tambahan setelah adanya pemodelan gelombang, pemodelan sistem hidrolik, dan pemodelan kontrol yaitu *output* menuju turbin sehingga diketahui BHP dan kecepatan turbin yang dihasilkan. Penambahan yang dilakukan yaitu dengan memberi *gain*, *constant*, serta *mathematic operation* pada *Math Operation block* hingga divisualkan dengan *scope* dalam bentuk grafik.



Gambar 8. Pemodelan Sistem WEHC

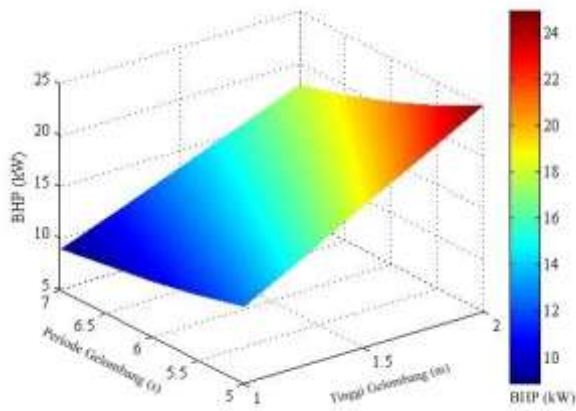
Dalam hal ini tambahan tersebut dimaksudkan menjadi *value indicator* hasil dari pengukuran sistem. Pengubahan parameter tinggi gelombang laut pada block *wave input*, sedangkan untuk mengubah periode gelombang yaitu pada *script* (terlampir) yang otomatis akan terkoneksi dengan sistem.

I. Simulasi dan Analisa Data

Model yang sudah dibuat disimulasikan dengan *running data script* dalam *script editor* sehingga hasilnya langsung terekam dalam *workspace*. Setelah itu data tersebut digunakan sebagai acuan oleh blok yang ada di pemodelan simulink.

- 1) Pada $T = 5$ s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sekitar 24.9 kW, sedangkan daya minimumnya yaitu sekitar 12.4 kW. Kesetabilan daya sekitar 9.5 s setelah WEHC beroperasi.
- 2) Pada $T = 5.5$ s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sekitar 22.6 kW, sedangkan daya minimumnya yaitu sekitar 11.3 kW. Kesetabilan daya sekitar 9 s setelah WEHC beroperasi.
- 3) Pada $T = 6$ s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sekitar 20.7 kW, sedangkan daya minimumnya yaitu sekitar 10.3 kW. Kesetabilan daya sekitar 9 s setelah WEHC beroperasi.
- 4) Pada $T = 6.5$ s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sekitar 19.1 kW, sedangkan daya minimumnya yaitu sekitar 9.5 kW. Kesetabilan daya sekitar 9.5 s setelah WEHC beroperasi.
- 5) Pada $T = 7$ s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sekitar 17.7 kW, sedangkan daya minimumnya yaitu sekitar 8.8 kW. Kesetabilan daya sekitar 9.5 s setelah WEHC beroperasi.

Dari data yang diambil tersebut dapat terlihat perbedaan yang signifikan antara variasi tinggi gelombang (H) dan variasi periode gelombang (T) seperti pada Gambar 1. Semakin besar tinggi gelombang laut yang mengenai *buoy* maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Namun, semakin besar periode gelombang yang mengenai *buoy* maka semakin kecil daya yang dihasilkan karena mempengaruhi kerapatan gelombang. Ketika periode gelombang semakin kecil, hal tersebut mengartikan bahwa semakin rapat gelombang yang mengenai *buoy*. Selain itu, semakin besar periode kesetabilan sistem tercapai semakin lama.



Gambar 9. Data hasil Simulasi WEHC

J. Karakteristik Kawasan Implementasi WEHC

WEHC merupakan *converter* energi gelombang laut menjadi energi listrik yang membutuhkan tumpuan khusus di ujungnya. Struktur *buoy* yang bekerja sebagai *point absorber* [2] seperti PTO (*Power Take Off*) terbatas oleh ketinggian gelombang karena sudut lengan tidak fleksibel. Gerakannya naik dan turun karena pengaruh gelombang. Adapun karakteristik kawasan implementasi dari WEHC yaitu sebagai berikut:

- 1) Daerah pantai (*nearshore*) yang memiliki gelombang aktif dengan minimal ketinggian 1 m.
- 2) Memiliki kawasan curam atau dibuat struktur beton untuk menyesuaikan dengan model yang sama.
- 3) Bisa menjorok ke tengah laut asalkan ada struktur kaki khusus seperti pelabuhan apung sehingga *converter* bisa tertopang.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil dari pemodelan sistem WEHC ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Telah dibuat pemodelan sistem hidrolis pada *Wave Energy Hyperbaric Converter* (WEHC) menggunakan MATLAB Simulink dengan ukuran panjang *lever arm* 20 m, ukuran diameter *buoy* yaitu 10 m, dan ukuran diameter turbin pelton 0.5 m.
- 2) Dari analisa aliran energi pada *Wave Energy Hyperbaric Converter* (WEHC) dengan variasi tinggi gelombang 1 – 2 m dan variasi periode gelombang 5 – 7 s, didapatkan daya terbesar yaitu 24.9 kW dan daya terkecil sebesar 8.8 kW.
- 3) Karakteristik gelombang optimum untuk mendapatkan daya maksimal dari simulasi yaitu pada ketinggian 2 m dan periode 5 s dengan efisiensi pemodelan sebesar 82.8%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Sujanarko. Pelatihan Matlab Simulink dan PCI. Diakses di <URL: www.scribd.com> pada tanggal 21 Juni 2015.
- [2] Czech, Balazs., Bauer, Pavol., and Polinder, Henk. 2014. Review of Wave Energy Converters. UK : IEEE Journal.
- [3] Dietzel, Fritz. 1993. Turbin, Pompa, dan Kompresor. Jakarta : Erlangga.

- [4] Garcia-Rosa, Paula B., dkk. 2014. Wave-to-Wire Model and Energy Storage Analysis of an Ocean Wave Energy Hyperbaric Converter. Brazil : IEEE J. Ocean Eng. Vol. 39. No. 2.
- [5] Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM). 2012. Statistik Listrik 2012.
- [6] Lubis, Subaktian. 2011. Pembangkit Listrik Tenaga Arus laut Bagi Desa Pesisir Tertinggal (Second Opinion). Diakses di <URL: <http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/4310-pembangkit-listrik-tenaga-arus-laut-bagi-desa-pesisir-tertinggal-second-opinion.html>> pada tanggal 15 Maret 2015.
- [7] Martinez, M., dkk. 2012. Modeling and Simulation of Wave Energy Hyperbaric Converter (WEHC) for Application in Distributed Generation. Brazil : Int. J. of Hydrogen Energy 3 14945-14950.
- [8] Muchlis, M. dan Permana, A.D.. 2013. Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 S.D 2020.
- [9] Team. Modul Praktikum Mesin Fluida. Marine Machinery and System Laboratory FTK ITS.